

#21 PD
5/11/02

Docket No.: 57810-033

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Nobuhiko HAYASHI, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: February 28, 2002

Examiner:

For: NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR ELEMENT AND METHOD OF FORMING
NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2001-056284, filed March 1, 2001

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:prp
Date: February 28, 2002
Facsimile: (202) 756-8087

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

57810-033
Hayashi et al.
February 28, 2002

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 3月 1日

出願番号
Application Number:

特願2001-056284

[ST.10/C]:

[JP2001-056284]

出願人
Applicant(s):

三洋電機株式会社

J1046 U.S. PTO
10/084050
02/28/02

2002年 2月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造

出証番号 出証特2002-3004755

【書類名】 特許願

【整理番号】 NBA1011001

【提出日】 平成13年 3月 1日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

【氏名】 林 伸彦

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

【氏名】 國里 竜也

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

【氏名】 大保 広樹

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
三洋電機株式会社内

【氏名】 山口 勤

【特許出願人】

【識別番号】 000001889

【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代表者】 桑野 幸徳

【代理人】

【識別番号】 100104433

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮園 博一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 073613

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001887

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 実質的に平坦な上面を有する下地の前記上面上に、前記下地の上面の一部が露出するように形成され、凹部を有するマスク層と、

前記露出された下地上および前記マスク層上に形成されるとともに、前記マスク層の凹部上に空洞を有して形成された窒化物系半導体層と、

前記窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えた、窒化物系半導体素子。

【請求項 2】 凹凸形状の上面を有する下地の前記凸部上に、前記下地の上面の一部が露出するように形成され、凹部を有するマスク層と、

前記露出された下地上および前記マスク層上に形成されるとともに、前記マスク層の凹部上に空洞を有して形成された窒化物系半導体層と、

前記窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えた、窒化物系半導体素子。

【請求項 3】 前記マスク層の凹部は、前記マスク層の上面の一部に設けられた凹み部を含む、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 4】 前記マスク層の凹部は、前記マスク層の上面が凹状に反った形状を有する、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 5】 前記マスク層は、オーバーハング形状を有し、
前記オーバーハング形状のマスク層の上面が、凹状に反った形状を有する、請求項 4 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 6】 前記オーバーハング形状のマスク層は、
前記下地上に形成された第 1 絶縁膜と、
前記第 1 絶縁膜上に形成され、前記第 1 絶縁膜よりもエッチング速度の小さい第 2 絶縁膜とを含む、請求項 5 に記載の窒化物系半導体素子。

【請求項 7】 実質的に平坦な上面を有する下地の前記上面上に、前記下地の上面の一部が露出するように、凹部を有するマスク層を形成する工程と、
前記露出された下地上および前記マスク層上に、窒化物系半導体層を成長させ

る工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 8】 凹凸形状の上面を有する下地の前記凸部上に、前記下地の上面の一部が露出するように、凹部を有するマスク層を形成する工程と、

前記露出された下地上および前記マスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 9】 前記マスク層を形成する工程は、

前記下地上の所定領域にマスク層を形成した後、前記マスク層の上面の一部をエッチングすることによって前記マスク層の上面に凹部を形成する工程を含む、請求項 7 または 8 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 10】 前記マスク層を形成する工程は、

前記下地上の前記マスク層が形成される領域の一部に、第 1 マスク材料層を形成する工程と、

前記第 1 マスク材料層および前記下地を覆うように、第 2 マスク材料層を形成する工程と、

前記第 1 マスク材料層が残るように、前記第 2 マスク材料層をエッチングすることによって、前記第 1 マスク材料層および前記第 2 マスク材料層からなるとともに、上面に凹部を有するマスク層を形成する工程とを含む、請求項 7 または 8 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 11】 実質的に平坦な上面を有する下地の前記上面上に、前記下地の上面の一部が露出するように、オーバーハング形状を有するマスク層を形成する工程と、

前記露出された下地上および前記マスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 12】 凹凸形状の上面を有する下地の前記凸部上に、前記下地の上面の一部が露出するように、オーバーハング形状を有するマスク層を形成する工程と、

前記露出された下地上および前記マスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えた、窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 13】 前記窒化物系半導体層を成長させる工程は、

前記オーバーハング形状を有するマスク層の下部から前記窒化物系半導体層を成長させて前記マスク層のオーバーハング部の下部から力を加えることによって、前記オーバーハング形状のマスク層の上面を反らせる工程を含む、請求項 1 1 または 1 2 に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 4】 前記マスク層を形成する工程は、

前記下地上に第 1 マスク材料層を形成するとともに、前記第 1 マスク材料層上に、前記第 1 マスク材料層よりもエッチング速度の小さい第 2 マスク材料層を形成する工程と、

前記第 1 マスク材料層と前記第 2 マスク材料層とをエッチングすることによって、前記第 1 マスク材料層および前記第 2 マスク材料層を有するオーバーハング形状のマスク層を形成する工程とを含む、請求項 1 1 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【請求項 1 5】 前記窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える、請求項 7 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関し、より特定的には、選択横方向成長を用いて形成された窒化物系半導体を含む窒化物系半導体素子および窒化物系半導体の形成方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来、下地上に窒化物系半導体を成長させる技術が知られている。たとえば、窒化物系半導体の 1 つである G a N の結晶成長では、格子整合する基板が少ないために、サファイア基板などの基板上に成長させている。この場合、結晶欠陥の少ない結晶性の良好な G a N を成長させるために、従来、基板と G a N 層との間に、低温成長によるバッファ層を挿入する技術が知られている。

【 0 0 0 3 】

しかしながら、上記のような低温バッファ層を用いた場合であっても、低減できる欠陥の密度には限界があり、さらに転位を低減するのは困難である。そこで、従来、GaNを成長する際に、選択横方向成長 (Epitaxial Lateral Overgrowth: ELOG) 法によって転位を低減する技術が提案されている。この選択横方向成長については、たとえば、応用電子物性分科会誌第4巻 (1998年) の第53頁～第58頁および第210頁～第215頁などに開示されている。

【0004】

図29は、従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。図29を参照して、この従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法では、まず、サファイア基板101上に低温バッファ層102を形成した後、その低温バッファ層102上に、下地となるGaN層103を成長させる。

【0005】

次に、GaN層103上の所定領域に、SiO₂などからなるストライプ状 (細長状) のマスク層104を形成する。マスク層104を選択成長マスクとして、GaN層103を下地層としてGaN層105の選択横方向成長を行うと、GaN層105は、GaN層103の露出部から、縦方向 (上方向) に成長した後、マスク層104上を横方向に成長する。この横方向成長によって、c軸方向に延びていた転位は横方向に曲げられるので、転位はGaN層105の上面付近には達しない。これにより、最終的に形成される平坦な上面を有するGaN層105の上面に到達する転位は、下地層を構成するGaN層103に比べて大幅に減少される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図29に示した従来の選択横方向成長を用いた窒化物系半導体の形成方法では、選択横方向成長によって形成されるGaN層105の転位を低減することは可能であるが、結晶成長方向であるc軸がずれるという問題点があった。すなわち、GaN層105を選択横方向成長させる際に、GaN層105

がマスク層 1 0 4 上を横方向に成長するとき、その成長層に応力がかかるため、成長層に歪みが発生する。このため、サファイア基板 1 0 1 に対して垂直な方向の c 軸が、図 2 9 の矢印に示すように、最大で 2° 程度ずれる（傾く）という問題点があった。このように c 軸のずれが発生すると、結晶性が悪くなり、その結果、素子特性が悪化するという問題点があった。

【0 0 0 7】

そこで、従来、c 軸のずれを抑制するために、図 3 0 に示すような方法が提案されている。図 3 0 を参照して、この提案された方法では、サファイア基板 1 1 1 上に低温バッファ層 1 1 2 を介して下地となる GaN 層 1 1 3 を形成する。そして、GaN 層 1 1 3 の表面に凹凸形状を形成した後、その凹部 1 1 3 a 内に SiO₂ などからなる凹部 1 1 4 a を有するマスク層 1 1 4 を形成する。そして、マスク層 1 1 4 を選択成長マスクとして、下地となる GaN 層 1 1 3 の凸部上に GaN 層 1 1 5 を選択横方向成長させる。この場合、マスク層 1 1 4 と選択横方向成長された GaN 層 1 1 5 との間には空洞部 1 2 0 が形成されるので、GaN 層 1 1 5 がマスク層 1 1 4 上を横方向成長する際に、GaN 層 1 1 5 とマスク層 1 1 4 との接触面積が少なくなる。これにより、GaN 層 1 1 5 がマスク層 1 1 4 上を横方向成長する際に、GaN 層 1 1 5 に応力がかかりにくくなるので、GaN 層 1 1 5 の歪みが緩和される。これにより、図 3 0 の矢印に示すように、c 軸のずれを図 2 9 に示した従来例と比較して緩和することができる。

【0 0 0 8】

しかしながら、図 3 0 に示した従来の提案された方法では、下地層としての GaN 層 1 1 3 の表面を凹凸形状にするために、GaN 層 1 1 3 をエッチングする必要がある。この場合、GaN 層 1 1 3 のエッチングには、長時間かかるため、プロセス時間が長くなるという問題点があった。

【0 0 0 9】

また、図 3 0 に示した従来の提案された方法では、図 3 1 に示すように、GaN 層 1 1 5 の横方向成長中に、転位 1 1 6 が途中で曲がり、表面まで到達しない。しかし、一部の転位 1 1 6 は曲がらずにそのまま表面に到達する。このため、従来の提案された方法では、転位をより低減するのは困難であるという問題点も

あった。

【 0 0 1 0 】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたものであり、

この発明の1つの目的は、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を得ることによって、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供することである。

【 0 0 1 1 】

この発明のもう1つの目的は、上記の窒化物系半導体素子において、選択横方向成長される窒化物系半導体層の転位をより低減することである。

【 0 0 1 2 】

この発明のさらにもう1つの目的は、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を容易に形成することが可能な窒化物系半導体の形成方法を提供することである。

【 0 0 1 3 】

この発明の他の目的は、上記の窒化物系半導体の形成方法において、窒化物系半導体の表面に達する転位をより有効に低減することである。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

この発明の第1の局面における窒化物系半導体素子は、実質的に平坦な上面を有する下地の上面上に、下地の上面の一部が露出するように形成され、凹部を有するマスク層と、露出された下地上およびマスク層上に形成されるとともに、マスク層の凹部上に空洞を有して形成された窒化物系半導体層と、窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えている。

【 0 0 1 5 】

この第1の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、実質的に平坦な上面を有する下地の上面上に、凹部を有するマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、マスク層の凹部上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成される。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸

）のずれを抑制することができる。また、下地を、実質的に平坦な形状に形成することによって、従来のように窒化物系半導体などからなる下地に凹凸形状を形成するために長時間エッチングする必要がない。このため、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を得ることができる。そして、その結晶性の良好な窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させれば、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

【0016】

この発明の第2の局面による窒化物系半導体素子は、凹凸形状の上面を有する下地の凸部上に、下地の上面の一部が露出するように形成され、凹部を有するマスク層と、露出された下地上およびマスク層上に形成されるとともに、マスク層の凹部上に空洞を有して形成された窒化物系半導体層と、窒化物系半導体層上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層とを備えている。

【0017】

この第2の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、下地の上面上に、凹部を有するマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、マスク層の凹部上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成される。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。また、下地を、凹凸形状に形成するとともに、その凸部上に、マスク層を形成することによって、そのマスク層をオーバーハング形状にすれば、マスク層のオーバーハング部下の部分には原料が供給されにくくなるので、オーバーハング部下と、それ以外の部分とで成長速度差が生じる。これにより、成長速度の遅いオーバーハング部下の部分では、ごく初期段階から横方向成長が支配的になるので、転位は初期段階から横方向に曲がり始める。その結果、転位が窒化物系半導体層の表面に達するのをより有効に防止することができる。このため、転位をより低減しながら、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を得ることができる。

そして、その結晶性のより良好な窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させれば、より良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

【 0 0 1 8 】

上記の第 1 または第 2 の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、マスク層の凹部は、マスク層の上面の一部に設けられた凹み部を含む。このように構成すれば、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、その凹み部によりマスク層上に容易に空洞を形成することができる。

【 0 0 1 9 】

また、上記第 1 または第 2 の局面による窒化物系半導体素子において、好ましくは、マスク層の凹部は、マスク層の上面が凹状に反った形状を有する。このように構成すれば、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、マスク層の凹状に反った形状によりマスク層上に容易に空洞を形成することができる。この場合、マスク層は、オーバーハング形状を有し、オーバーハング形状のマスク層の上面が、凹状に反った形状を有するのが好ましい。さらにこの場合、オーバーハング形状のマスク層は、下地上に形成された第 1 絶縁膜と、第 1 絶縁膜上に形成され、第 1 絶縁膜よりもエッチング速度の小さい第 2 絶縁膜とを含むのが好ましい。このように構成すれば、第 1 絶縁膜および第 2 絶縁膜を形成した後、第 2 絶縁膜および第 1 絶縁膜をエッチングすることによって、第 2 絶縁膜が横方向に突出したオーバーハング形状のマスク層を容易に得ることができる。

【 0 0 2 0 】

この発明の第 3 の局面による窒化物系半導体の形成方法は、実質的に平坦な上面を有する下地の上面上に、下地の上面の一部が露出するように、凹部を有するマスク層を形成する工程と、露出された下地上およびマスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

【 0 0 2 1 】

この第 3 の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、凹部を有するマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、マスク層の凹部上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成さ

れる。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。また、下地を、実質的に平坦な形状に形成することによって、従来のように窒化物系半導体などからなる下地に凹凸形状を形成するために長時間エッチングする必要がない。このため、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。

【 0 0 2 2 】

この発明の第4の局面による窒化物系半導体の形成方法は、凹凸形状の上面を有する下地の凸部上に、下地の上面の一部が露出するように、凹部を有するマスク層を形成する工程と、露出された下地上およびマスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

【 0 0 2 3 】

この第4の局面による窒化物系半導体の形成方法では、下地の上面上に、凹部を有するマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層をマスク層上に横方向成長させる際に、マスク層の凹部上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成される。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。また、下地を、凹凸形状に形成するとともに、その凸部上に、マスク層を形成することによって、そのマスク層をオーバーハング形状にすれば、マスク層のオーバーハング部下の部分には原料が供給されにくくなるので、オーバーハング部下と、それ以外の部分とで成長速度差が生じる。これにより、成長速度の遅いオーバーハング部下の部分では、ごく初期段階から横方向成長が支配的になるので、転位は初期段階から横方向に曲がり始める。その結果、転位が窒化物系半導体層の表面に達するのをより有効に防止することができる。このため、転位をより低減しながら、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。

【 0 0 2 4 】

この第3または第4の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、マスク層を形成する工程は、下地上の所定領域にマスク層を形成した後、マスク層の上面の一部をエッチングすることによってマスク層の上面に凹部を形成する工程を含む。このように構成すれば、上面に凹部を有するマスク層を容易に形成することができる。

【 0 0 2 5 】

また、この第3または第4の局面による窒化物系半導体の形成方法において、好ましくは、マスク層を形成する工程は、下地上のマスク層が形成される領域の一部に、第1マスク材料層を形成する工程と、第1マスク材料層および下地を覆うように、第2マスク材料層を形成する工程と、第1マスク材料層が残るように、第2マスク材料層をエッチングすることによって、第1マスク材料層および第2マスク材料層からなるとともに、上面に凹部を有するマスク層を形成する工程とを含む。このように構成すれば、上面に凹部を有するマスク層を容易に形成することができる。

【 0 0 2 6 】

この発明の第5の局面による窒化物系半導体の形成方法は、実質的に平坦な上面を有する下地の上面上に、下地の上面の一部が露出するように、オーバーハング形状を有するマスク層を形成する工程と、露出された下地上およびマスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

【 0 0 2 7 】

この第5の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、オーバーハング形状のマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層を成長させる際、成長中の窒化物系半導体層からオーバーハング形状のマスク層の突出部に上方向の力が加わり、オーバーハング形状のマスク層の上面が反って凹み部が形成される。これにより、そのマスク層の反った凹み部の上面上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成される。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。この場合、マスク層の反った凹み部によって、マスク層の上

面と成長層との接触面積がより少なくなるので、c軸のずれをほとんど0°にまで低減することができる。その結果、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。また、下地を、実質的に平坦な形状に形成することによって、従来のように窒化物系半導体などからなる下地に凹凸形状を形成するために長時間エッチングする必要がない。このため、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。

【0028】

この発明の第6の局面による窒化物系半導体の形成方法は、凹凸形状の上面を有する下地の凸部上に、下地の上面の一部が露出するように、オーバーハング形状を有するマスク層を形成する工程と、露出された下地上およびマスク層上に、窒化物系半導体層を成長させる工程とを備えている。

【0029】

この第6の局面による窒化物系半導体の形成方法では、上記のように、オーバーハング形状のマスク層を形成することによって、窒化物系半導体層を成長させる際、成長中の窒化物系半導体層からオーバーハング形状のマスク層の突出部に上方向の力が加わり、オーバーハング形状のマスク層の上面が反って凹み部が形成される。これにより、そのマスク層の反った凹み部の上面上に空洞を有して窒化物系半導体層が形成される。この空洞によって、横方向成長した窒化物系半導体層の歪みが緩和されるので、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。この場合、マスク層の反った凹み部によって、マスク層の上面と成長層との接触面積がより小さくなるので、c軸のずれをほとんど0°にまで低減することができる。その結果、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。また、下地を、凹凸形状に形成するとともに、その凸部上に、マスク層を形成することによって、そのマスク層をオーバーハング形状にすれば、マスク層のオーバーハング部下の部分には原料が供給されにくくなるので、オーバーハング部下と、それ以外の部分とで成長速度差が生じる。これにより、成長速度の遅いオーバーハング部下の部分では、ごく初期段階から横方

向成長が支配的になるので、転位は初期段階から横方向に曲がり始める。その結果、転位が窒化物系半導体層の表面に達するのをより有効に防止することができる。このため、転位をより低減しながら、窒化物系半導体層のc軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、結晶性のより良好な窒化物系半導体層を容易に形成することができる。

【0030】

上記第5または第6の局面において、好ましくは、窒化物系半導体層を成長させる工程は、オーバーハング形状を有するマスク層の下部から窒化物系半導体層を成長させてマスク層のオーバーハング部の下部から力を加えることによって、オーバーハング形状のマスク層の上面を反らせる工程を含む。このように構成すれば、上面が沿って凹み部が形成されるので、そのマスク層の凹み部上に容易に空洞を有して窒化物系半導体層を形成することができる。

【0031】

上記第5または第6の局面において、好ましくは、マスク層を形成する工程は、下地上に第1マスク材料層を形成するとともに、第1マスク材料層上に、第1マスク材料層よりもエッチング速度の小さい第2マスク材料層を形成する工程と、第1マスク材料層と第2マスク材料層とをエッチングすることによって、第1マスク材料層および第2マスク材料層を有するオーバーハング形状のマスク層を形成する工程とを含む。このように構成すれば、オーバーハング形状のマスク層を容易に形成することができる。

【0032】

また、上記の場合、好ましくは、窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を成長させる工程をさらに備える。このように構成すれば、結晶性の良好な窒化物系半導体層上に、素子領域を有する窒化物系半導体素子層が成長されるので、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を容易に形成することができる。

【0033】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて説明する。

【 0 0 3 4 】

(第 1 実施形態)

図 1 ～ 図 4 は、本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。以下図 1 ～ 図 4 を参照して、第 1 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。

【 0 0 3 5 】

まず、図 1 に示すように、サファイア基板 1 上に、Ga N または Al Ga N からなる低温バッファ層 2 を約 2 0 n m ～ 約 3 0 n m の厚みで成長させる。そして、その低温バッファ層 2 上に、MOCVD 法（有機金属気相成長法）または HVPE 法（ハライド気相成長法）を用いて、約 2 μ m 以上の厚みを有する下地層となるアンドープ Ga N 層 3 を成長させる。アンドープ Ga N 層 3 上に、Si O₂ または Si N からなるマスク層 4 を形成する。マスク層 4 上の所定領域に、レジスト 7 を形成する。レジスト 7 をマスクとして、マスク層 4 をエッチングすることによって、図 2 に示されたようなパターンニングされたストライプ状（細長状）のマスク層 4 が形成される。このストライプ状のマスク層 4 は、約 1 0 μ m 程度の周期を有するように形成する。この後、レジスト 7 を除去する。

【 0 0 3 6 】

次に、図 3 に示すように、マスク層 4 の端部およびアンドープ Ga N 層 3 の露出された部分を覆うようにレジスト 8 を形成する。レジスト 8 をマスクとして、マスク層 4 の上面の一部をエッチングすることによって、マスク層 4 の上面中央に凹部 4 a を形成する。ここで、マスク層 4 は、約 6 μ m の幅を有するとともに、凹部 4 a は、約 4 μ m の幅を有するように形成する。また、マスク層 4 の端部は、約 0. 5 μ m の厚みを有するように形成し、マスク層 4 の凹部 4 a が形成される部分は、約 0. 2 μ m ～ 約 0. 3 μ m の厚みになるようにエッチングする。この後、レジスト 8 を除去する。

【 0 0 3 7 】

次に、図 4 に示すように、凹部 4 a を有するマスク層 4 を選択成長マスクとして、アンドープ Ga N 層 3 上およびマスク層 4 上にアンドープ Ga N 層 5 を選択横方向成長させる。この選択横方向成長によって、マスク層 4 の凹部 4 a 上には

、空洞部 6 を有して平坦な上面を有するアンドープ GaN 層 5 が形成される。

【0038】

この第 1 実施形態では、上記のように、平坦な上面を有する下地層としてのアンドープ GaN 層 3 の上面上に、凹部 4 a を有するマスク層 4 を形成することによって、アンドープ GaN 層 5 をマスク層 4 上に横方向成長させる際に、マスク層 4 の凹部 4 a 上に空洞部 6 を有してアンドープ GaN 層 5 が形成される。この空洞部 6 によって、マスク層 4 上を横方向成長したアンドープ GaN 層 5 の歪みが緩和されるので、アンドープ GaN 層 5 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。この第 1 実施形態では、アンドープ GaN 層 5 の c 軸のずれを、約 0.1° 以下に低減することができる。

【0039】

また、下地となるアンドープ GaN 層 3 は、平坦な形状を有するので、図 30 に示した従来の提案された構造と異なり、凹凸形状を形成するために長時間エッチングする必要がない。このため、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、選択横方向成長されるアンドープ GaN 層 5 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好なアンドープ GaN 層 5 を容易に形成することができる。

【0040】

図 5 は、上記した第 1 実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子の断面図である。図 5 を参照して、この第 1 実施形態の半導体レーザ素子では、図 4 に示したアンドープ GaN 層 5 上に、約 $5\mu\text{m}$ の厚みを有する Si がドーピングされた n 型 GaN コンタクト層 11 が形成されている。n 型 GaN コンタクト層 11 上には、約 $0.1\mu\text{m}$ の厚みを有する Si がドーピングされた n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラック防止層 12 が形成されている。n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラック防止層 12 上には、約 $1\mu\text{m}$ の厚みを有する Si がドーピングされた n 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層 13 が形成されている。n 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層 13 上には、量子井戸構造を有する MQW 発光層 14 が形成されている。

【0041】

MQW発光層14は、基板側から順次形成された、約0.1 μm の厚みを有するGa_{0.97}N_{0.03}ガイド層(Siドープ)、約6 nmの厚みを有するIn_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層(Siドープ)、約3 nmの厚みを有するIn_{0.10}Ga_{0.90}N井戸層(Siドープ)、約6 nmの厚みを有するIn_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層(Siドープ)、約3 nmの厚みを有するIn_{0.10}Ga_{0.90}N井戸層(Siドープ)、約6 nmの厚みを有するIn_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層(Siドープ)、約3 nmの厚みを有するIn_{0.10}Ga_{0.90}N井戸層(Siドープ)、約6 nmの厚みを有するIn_{0.03}Ga_{0.97}Nバリア層(Siドープ)、約2 nmの厚みを有するAl_{0.2}GaN_{0.8}Nキャップ層(Mgドープ)および約0.1 μm のGa_{0.97}N_{0.03}ガイド層(Mgドープ)を含んでいる。

【0042】

MQW発光層14上には、約0.4 μm の厚みを有するMgがドープされたp型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層15が形成されている。p型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層15上には、約0.1 μm の厚みを有するMgがドープされたp型Ga_{0.97}N_{0.03}コンタクト層16が形成されている。また、p型Ga_{0.97}N_{0.03}コンタクト層16上には、p型電極17が形成されている。また、n型Ga_{0.97}N_{0.03}コンタクト層11の露出された表面上には、n型電極18が形成されている。また、各層11～16の側面および上面を覆うように、絶縁膜からなる保護膜19が形成されている。

【0043】

なお、上記した各層11～16は、本発明の「窒化物系半導体素子層」の一例である。

【0044】

上記した第1実施形態の半導体レーザ素子では、図1～図4に示した形成方法を用いて長時間のエッチングプロセスを行うことなく形成されたc軸のずれが低減されたアンドープGa_{0.97}N_{0.03}層5上に、各層11～16を形成するので、各層11～16において、良好な結晶性を実現することができる。したがって、第1実施形態では、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0045】

(第2実施形態)

図6～図10は、本発明の第2実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第2実施形態では、凹部を有するマスク層を用いて基板上に直接窒化物系半導体層を選択横方向成長させる方法について説明する。以下、詳細に説明する。

【0046】

まず、サファイア基板21上に、 SiO_2 または SiN からなる第1マスク材料層22bを約 $0.2\mu\text{m}$ ～約 $0.3\mu\text{m}$ の厚みで形成する。第1マスク材料層22b上の所定領域に、レジスト26を形成する。そして、そのレジスト26をマスクとして、第1マスク材料層22bをエッチングすることによって、図7に示されるような、パターンニングされた第1マスク材料層22bを形成する。この後、レジスト26を除去する。

【0047】

次に、図8に示すように、第1マスク材料層22bおよびサファイア基板21の露出部分を覆うように、約 $0.2\mu\text{m}$ ～約 $0.3\mu\text{m}$ の厚みを有する SiO_2 または SiN からなる第2マスク材料層22cを形成する。これにより、第2マスク材料層22cの表面に凹部22aが形成される。その凹部22aおよびその凹部22aの両端近傍を覆うようにレジスト27を形成する。レジスト27をマスクとして、第2マスク材料層22cをエッチングすることによって、図9に示されるような、パターンニングされた第1マスク材料層22bおよび第2マスク材料層22cからなるマスク層22が形成される。そして、そのマスク層22の上面には、凹部22aが形成されている。このマスク層22は、約 $6\mu\text{m}$ の幅と、約 $0.5\mu\text{m}$ の端部厚みと、約 $0.2\mu\text{m}$ ～約 $0.3\mu\text{m}$ の中央部厚みと、約 $4\mu\text{m}$ の凹部22aの幅とを有するように形成される。また、このマスク層22は、約 $10\mu\text{m}$ 程度の周期を有するように、ストライプ状に形成される。この後、レジスト27を除去する。

【0048】

次に、図10に示すように、マスク層22間に位置するサファイア基板21の露出部分上に、約 20nm ～約 30nm の厚みを有する GaN からなる低温バッ

ファ層 2 3 を成長させる。この後、低温バッファ層 2 3 上およびマスク層 2 2 上に、アンドープ GaN 層 2 4 を選択横方向成長させることによって、平坦な上面を有するアンドープ GaN 層 2 4 を形成する。この場合、マスク層 2 2 の凹部 2 2 a 上には、空洞部 2 5 が形成される。この空洞部 2 5 によって、この第 2 実施形態においても、横方向成長したアンドープ GaN 層 2 4 の歪みが緩和されるので、アンドープ GaN 層 2 4 の c 軸（結晶軸）のずれを約 0.1° 以下に低減することができる。また、下地となるサファイア基板 2 1 は、平坦な形状を有するので、図 3 0 に示した従来例と異なり、GaN 層に凹凸形状を形成するための長時間のエッチングプロセスを行う必要がない。このため、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、アンドープ GaN 層 2 4 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好なアンドープ GaN 層 2 4 を得ることができる。

【 0 0 4 9 】

また、この第 2 実施形態では、サファイア基板 2 1 上に、アンドープ GaN 層 2 4 を選択横方向成長させているので、第 1 実施形態のように下地となる GaN 層を設ける必要がない。このため、第 1 実施形態に比べて製造プロセスをより簡略化することができる。

【 0 0 5 0 】

図 1 1 は、上記した第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。図 1 1 を参照して、この第 2 実施形態では、図 1 0 に示したアンドープ GaN 層 2 4 上に、図 5 に示した第 1 実施形態と同様の各層 1 1 ～ 1 6 と、各電極 1 7 および 1 8 と、保護膜 1 9 とが形成されている。

【 0 0 5 1 】

この第 2 実施形態の半導体レーザ素子では、図 7 ～ 図 1 0 に示した第 2 実施形態の形成方法を用いて長時間のエッチングプロセスを行うことなく形成された c 軸のずれが低減されたアンドープ GaN 層 2 4 上に、各層 1 1 ～ 1 6 を形成するので、各層 1 1 ～ 1 6 において、良好な結晶性を実現することができる。したがって、この第 2 実施形態では、第 1 実施形態と同様、長時間のエッチングプロセ

スを行うことなく、良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0052】

(第3実施形態)

図12～図14は、本発明の第3実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。以下、図12～図14を参照して、第3実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。

【0053】

まず、図12に示すように、サファイア基板31上に、約20nm～約30nmの厚みを有するGaNまたはAlGaNからなる低温バッファ層32を成長させる。その低温バッファ層32上に、MOCVD法またはHVPE法を用いて、下地層としてのアンドープGaN層33を約2μm以上の厚みで成長させる。アンドープGaN層33上に、プラズマCVD法を用いて、RFパワー125Wで約0.05μmの厚みを有するSiNからなる第1マスク材料層34bを形成する。第1マスク材料層34b上に、プラズマCVD法を用いて、250WのRFパワーで約0.45μmの厚みを有するSiNからなる第2マスク材料層34cを形成する。第2マスク材料層34c上の所定領域に、レジスト37を形成する。

【0054】

そして、レジスト37をマスクとして、第2マスク材料層34cおよび第1マスク材料層34bをバッファードフッ酸によってウェットエッチングする。この場合、上記のような形成条件で形成した第1マスク材料層34bは、第2マスク材料層34cに比べてエッチングされやすいので、レジスト37をマスクとして第2マスク材料層34cおよび第1マスク材料層34bをオーバーエッチングすることによって、図13に示されるような、オーバーハング形状を有する第1マスク材料層34bおよび第2マスク材料層34cからなるストライプ状のマスク層34が形成される。なお、このストライプ状のマスク層34は、約7μm程度の周期を有するように形成する。この後、レジスト37を除去する。

【0055】

次に、図 1 4 に示すように、マスク層 3 4 を選択成長マスクとして、下地となるアンドープ GaN 層 3 3 上に、アンドープ GaN 層 3 5 を選択横方向成長させることによって、平坦な上面を有するアンドープ GaN 層 3 5 を形成する。

【 0 0 5 6 】

ここで、この第 3 実施形態では、アンドープ GaN 層 3 5 を下地となるアンドープ GaN 層 3 3 上に選択横方向成長させる際、成長中のアンドープ GaN 層 3 5 からオーバーハング形状のマスク層 3 4 の突出部（オーバーハング部）に上方向の力が加わるので、オーバーハング形状のマスク層 3 4 の上面が反った形状になる。これにより、マスク層 3 4 の上面に凹み部 3 4 a が形成される。この凹み部 3 4 a を有した状態で、アンドープ GaN 層 3 5 を成長し続けると、凹み部 3 4 a 上に、空洞部 3 6 が形成される。

【 0 0 5 7 】

このような空洞部 3 6 によって、横方向成長したアンドープ GaN 層 3 5 の歪みが緩和されるので、アンドープ GaN 層 3 5 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。特に、この第 3 実施形態のように、マスク層 3 4 を反らせて凹み部 3 4 a を形成した場合には、上記した第 1 および第 2 実施形態に比べて、マスク層 3 4 の上面と成長層であるアンドープ GaN 層 3 5 との接触面積がより少なくなるので、c 軸のずれをほぼ 0° にまで低減することができる。これにより、第 3 実施形態では、第 1 および第 2 実施形態に比べて、より結晶性の良好なアンドープ GaN 層 3 5 を形成することができる。

【 0 0 5 8 】

また、この第 3 実施形態では、上記した第 1 実施形態と同様、下地となるアンドープ GaN 層 3 3 の上面は平坦な形状を有しているので、図 3 0 に示した従来例のように、GaN からなる下地層の表面に凹凸形状を形成するために長時間のエッチングプロセスを行う必要がない。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、アンドープ GaN 層 3 5 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。これにより、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性のより良好なアンドープ GaN 層 3 5 を容易に形成することができる。

【 0 0 5 9 】

図 1 5 は、上記した第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。図 1 5 を参照して、この第 3 実施形態の半導体レーザ素子では、図 1 4 に示したアンドープ GaN 層 3 5 上に、図 5 に示した第 1 実施形態と同様の各層 1 1 ~ 1 6 と、各電極 1 7 および 1 8 と、保護膜 1 9 とが形成されている。これにより、第 3 実施形態の半導体レーザ素子では、図 1 2 ~ 図 1 4 を用いて長時間のエッチングプロセスを行うことなく形成された c 軸のずれのほとんどないアンドープ GaN 層 3 5 上に、各層 1 1 ~ 1 6 を形成するので、各層 1 1 ~ 1 6 において、より良好な結晶性を実現することができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、より良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 6 0 】

(第 4 実施形態)

図 1 6 ~ 図 1 8 は、本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第 4 実施形態では、上記した第 3 実施形態と異なり、下地層を用いることなく基板上に直接窒化物系半導体層を選択横方向成長させる例について説明する。

【 0 0 6 1 】

まず、図 1 6 に示すように、サファイア基板 4 1 上に、図 1 2 および図 1 3 に示した第 3 実施形態の形成プロセスと同様のプロセスを用いて、SiN (プラズマ CVD, RF パワー 1 2 5 W) からなる約 0. 0 5 μ m の厚みを有する第 1 マスク材料層 4 2 b と、SiN (プラズマ CVD, RF パワー 2 5 0 W) からなる約 0. 4 5 μ m の厚みを有する第 2 マスク材料層 4 2 c とからなるオーバーハング形状のマスク層 4 2 を形成する。このオーバーハング形状のマスク層 4 2 は、約 7 μ m の周期を有するストライプ状に形成する。

【 0 0 6 2 】

次に、図 1 7 に示すように、マスク層 4 2 間に位置するサファイア基板 4 1 の露出部分上に、GaN からなる低温バッファ層 4 3 を約 2 0 nm ~ 約 3 0 nm の厚みで成長させる。この状態では、オーバーハング形状のマスク層 4 2 の上面は、反っていない。

【 0 0 6 3 】

次に、図 1 8 に示すように、オーバーハング形状のマスク層 4 2 を選択成長マスクとして、低温バッファ層 4 3 上およびマスク層 4 2 上に、アンドープ G a N 層 4 4 を選択横方向成長させる。この場合、マスク層 4 2 の突出部（オーバーハング部）下に成長中のアンドープ G a N 層 4 4 からマスク層 4 2 のオーバーハング部に上方向の力が加わるので、マスク層 4 2 の上面が反って凹み部 4 2 a が形成される。この凹み部 4 2 a を有した状態でさらにアンドープ G a N 層 4 4 の成長が進むと、凹み部 4 2 a 上に空洞部 4 5 を有して上面が平坦なアンドープ G a N 層 4 4 が形成される。

【 0 0 6 4 】

このような空洞部 4 5 によって、横方向成長したアンドープ G a N 層 4 4 の歪みが緩和されるので、アンドープ G a N 層 4 4 の c 軸（結晶軸）のずれを抑制することができる。特に、この第 4 実施形態では、第 3 実施形態と同様、マスク層 4 2 を反らせて凹み部 4 2 a を形成するので、上記した第 1 および第 2 実施形態に比べて、マスク層 4 2 の上面と成長層であるアンドープ G a N 層 4 4 との接触面積がより少なくなる。これにより、c 軸のずれをほぼ 0° にまで低減することができる。その結果、第 4 実施形態では、第 1 および第 2 実施形態に比べて、より結晶性の良好なアンドープ G a N 層 4 4 を形成することができる。

【 0 0 6 5 】

また、この第 4 実施形態では、下地となるサファイア基板 4 1 が平坦な形状を有するので、図 3 0 に示した従来例のように、下地となる G a N 層の表面に凹凸形状を形成するために長時間エッチングプロセスを行う必要がない。このため、第 4 実施形態では、第 3 実施形態と同様、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、アンドープ G a N 層 4 4 の c 軸（結晶軸）のずれをほぼ 0° にすることができる。その結果、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性のより良好なアンドープ G a N 層 4 4 を形成することができる。

【 0 0 6 6 】

さらに、この第 4 実施形態では、上記した第 3 実施形態と異なり、G a N からなる下地層を用いることなく、サファイア基板 4 1 上に直接低温バッファ層 4 3

を介してアンドープGaN層44を選択横方向成長させるので、下地となるGaN層を設ける必要がない。このため、第4実施形態では、第3実施形態に比べて、より製造プロセスを簡略化することができる。

【0067】

図19は、上記した第4実施形態の窒化物系半導体の形成方法を用いて形成した半導体レーザ素子を示した断面図である。図19参照して、この第4実施形態の半導体レーザ素子では、図18に示したアンドープGaN層44上に、図5に示した第1実施形態と同様の各層11～16と、各電極17および18と、保護膜19とが形成されている。この第4実施形態の半導体レーザ素子では、図16～図18に示した形成方法により長時間のエッチングプロセスを行うことなく形成されたc軸のずれがほぼ0°に抑制されたアンドープGaN層44上に、各層11～16を形成するので、各層11～16において、より良好な結晶性を実現することができる。その結果、第4実施形態では、第3実施形態と同様、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、より良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0068】

(第5実施形態)

図20～図22は、本発明の第5実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。以下、図20～図22を参照して、第5実施形態の窒化物系半導体の形成方法について説明する。

【0069】

まず、図20に示すように、サファイア基板51上に、GaNまたはAlGaNからなる低温バッファ層52を約20nm～約30nmの厚みで成長させる。この低温バッファ層52上に、MOCVD法またはHVPE法を用いて、下地となるアンドープGaN層53を約2μm以上の厚みで成長させる。その後、アンドープGaN層53の上面上の所定領域に、SiNまたはSiO₂からなるマスク層54を約0.2μmの厚みと約4μmの幅で形成する。このマスク層54は、約7μmの周期を有するようにストライプ状に形成する。そして、マスク層54をマスクとして、下地となるアンドープGaN層53をウェットエッチングエ

ツチングすることによって、アンドープGaN層53に凹部53aを形成する。この凹部53aは、マスク層54の両端部下に位置するアンドープGaN層53の領域が挟まれた形状になるまでエッチングする。これにより、マスク層54の両端部は、アンドープGaN層53の凹部53aの端部の上方に突出したオーバーハング形状となる。

【0070】

次に、図21に示すように、マスク層54を選択成長マスクとして、下地となるアンドープGaN層53の凹部53a上およびマスク層54上に、アンドープGaN層55を選択横方向成長させる。この場合、アンドープGaN層55を成長させる際、マスク層54のオーバーハング部下の部分に成長中のアンドープGaN層55から、マスク層54のオーバーハング部に上方向に向かう力が加わるので、オーバーハング形状のマスク層54の上面が反って凹み部54aが形成される。この凹み部54aを有した状態で、アンドープGaN層55がさらに成長すると、凹み部54a上に空洞部56を有して上面が平坦なアンドープGaN層55が形成される。

【0071】

この空洞部56によって、横方向成長したアンドープGaN層55のひずみが緩和されるので、アンドープGaN層55のc軸のずれを抑制することができる。この第5実施形態では、上記した第3および第4実施形態と同様、マスク層54を反らせて凹み部54aを形成するので、上記した第1および第2実施形態に比べて、マスク層54の上面と成長層であるアンドープGaN層55との接触面積がより少なくなるので、c軸のずれをほぼ0°にまで低減することができる。これにより、第5実施形態では、第1および第2実施形態に比べて、より結晶性の良好なアンドープGaN層55を形成することができる。

【0072】

また、第5実施形態では、マスク層54のオーバーハング部下の部分には、アンドープGaN層55の成長時に原料が供給されにくくなるので、オーバーハング部下と、それ以外の部分とでアンドープGaN層55の成長速度差が生じる。これにより、成長速度の遅いオーバーハング部下の部分では、ごく初期段階から

横方向成長が支配的になるので、図 2 2 に示すように、転位 5 7 は初期段階から横方向に曲がり始める。このため、転位 5 7 は、アンドープ GaN 層 5 5 の上面にほとんど達しない。これにより、図 3 1 に示した従来例に比べて、よりアンドープ GaN 層 5 5 の転位 5 7 を低減することができる。その結果、第 5 実施形態では、転位をより低減しながら、アンドープ GaN 層 5 5 の c 軸のずれをほぼ 0° に低減することができる。これにより、上記した第 1 ～第 4 実施形態に比べて、結晶性のより良好なアンドープ GaN 層 5 5 を得ることができる。

【0073】

図 2 3 は、上記した第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造された半導体レーザ素子を示した断面図である。図 2 3 を参照して、この第 5 実施形態の半導体レーザ素子では、図 2 1 に示したアンドープ GaN 層 5 5 上に、図 5 に示した第 1 実施形態と同様の各層 1 1 ～1 6 と、各電極 1 7 および 1 8 と、保護膜 1 9 とが形成されている。この第 5 実施形態の半導体レーザ素子では、図 2 0 ～図 2 2 に示した形成方法により形成された転位がより低減された c 軸のずれのほとんどないアンドープ GaN 層 5 5 上に、各層 1 1 ～1 6 を成長させるので、各層 1 1 ～1 6 において、より良好な結晶性を実現することができる。したがって、この第 5 実施形態では、より良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0074】

(第 6 実施形態)

図 2 4 ～図 2 7 は、本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。この第 6 実施形態では、上記した第 5 実施形態において、下地層を用いずに直接基板上に窒化物系半導体層を成長させる場合の例を示している。図 2 4 ～図 2 7 を参照して、以下に第 6 実施形態の窒化物系半導体の形成方法について詳細に説明する。

【0075】

まず、図 2 4 に示すように、n 型 Si 基板 6 1 上の所定領域に、SiO₂ または SiN からなるマスク層 6 2 を約 0.2 μm の厚みと約 4 μm の幅とを有するように形成する。この場合、マスク層 6 2 は、約 7 μm 程度の周期でストライプ

状に形成する。マスク層62をマスクとして、n型Si基板61をウェットエッチングすることによって、n型Si基板61に凹部61aを形成する。この凹部61aは、マスク層62の両端部下まで抉られた形状になるまでエッチングする。これにより、マスク層62の両端部は、n型Si基板61の凹部61aの端部の上方に突出したオーバーハング形状となる。

【0076】

次に、図25に示すように、オーバーハング形状のマスク層62をマスクとしてn型Si基板61の凹部61aの表面上に、GaNまたはAlGaNからなる低温バッファ層63を約20nm～約30nmの厚みで成長させる。

【0077】

次に、図26に示すように、オーバーハング形状のマスク層62を選択成長マスクとして、低温バッファ層63上およびマスク層62上にアンドープGaN層64を選択横方向成長させる。この場合、マスク層62のオーバーハング部下の部分に成長されるアンドープGaN層64からオーバーハング形状のマスク層62のオーバーハング部に上方向の力が加わるので、マスク層62の上面が反って凹み部62aが形成される。この凹み部62aを有した状態でアンドープGaN層64をさらに成長させると、凹み部62a上に空洞部65を有して上面が平坦なアンドープGaN層64が形成される。

【0078】

このマスク層62が反ることにより形成された空洞部65によって、マスク層62の上面とアンドープGaN層64との接触面積がより少なくなるので、上記した第5実施形態と同様、横方向成長したアンドープGaN層64のc軸のずれをほぼ0°にまで低減することが可能となる。

【0079】

また、この第6実施形態では、オーバーハング形状のマスク層62のオーバーハング部下の部分には、アンドープGaN層64の成長時に原料が供給されにくくなるので、オーバーハング部下とそれ以外の部分とでアンドープGaN層64に成長速度差が生じる。これにより、成長速度の遅いオーバーハング部下の部分は、ごく初期段階から横方向成長が支配的になるので、図27に示すように、転

位 6 6 は初期段階から横方向に曲がり始める。このため、転位 6 6 がアンドープ GaN 層 6 4 の表面に達するのをより有効に防止することができる。これにより、第 6 実施形態では、図 3 1 に示した従来例に比べて、よりアンドープ GaN 層 6 4 の転位を低減することができる。このように第 6 実施形態では、転位をより低減しながら、c 軸のずれをほぼ 0° のまで低減することができるので、第 5 実施形態と同様、より結晶性の良好なアンドープ GaN 層 6 4 を得ることができる。

【 0 0 8 0 】

また、この第 6 実施形態では、上記した第 5 実施形態と異なり、下地層としての GaN 層を用いることなく、n 型 Si 基板 6 1 上に直接低温バッファ層 6 3 を介してアンドープ GaN 層 6 4 を形成するので、下地層としての GaN 層を設ける必要がない分、第 5 実施形態に比べて、より製造プロセスを簡略化することができる。

【 0 0 8 1 】

図 2 8 は、上記した第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造された半導体レーザ素子を示した断面図である。図 2 8 を参照して、この第 6 実施形態では、上記した第 1 実施形態～第 5 実施形態の半導体レーザ素子と異なり、導電性の n 型 Si 基板 6 1 を用いているので、n 型 Si 基板 6 1 の裏面に n 型電極 7 8 が設けられている。

【 0 0 8 2 】

また、図 2 6 に示したアンドープ GaN 層 6 4 上には、Si がドーピングされた n 型 GaN コンタクト層 7 1 が約 $5\mu\text{m}$ の厚みで形成されている。n 型 GaN コンタクト層 7 1 上には、Si がドーピングされた n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラック防止層 7 2 が約 $0.1\mu\text{m}$ の厚みで形成されている。n 型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラック防止層 7 2 上には、Si がドーピングされた n 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層 7 3 が約 $1\mu\text{m}$ の厚みで形成されている。n 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層 7 3 上には、量子井戸構造を有する MQW 発光層 7 4 が形成されている。なお、MQW 発光層 7 4 を構成する層の組成および膜厚は、図 5 に示した第 1 実施形態の MQW 発光層 1 4 と同様である。

【 0 0 8 3 】

MQW発光層74上には、約0.4 μm の厚みを有するMgがドーピングされたp型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層75が形成されている。p型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層75上には、約0.1 μm の厚みを有するMgがドーピングされたp型GaNコンタクト層76が形成されている。p型GaNコンタクト層76上には、p型電極77が形成されている。なお、上記した各層71～76は、本発明の「窒化物系半導体素子層」の一例である。

【 0 0 8 4 】

上記第6実施形態の半導体レーザ素子では、図24～図27に示した形成方法を用いて形成された転位がより低減され、かつ、c軸のずれがほぼ0°に低減されたアンドープGaN層64上に、各層71～76を形成するので、各層71～76において、より良好な結晶性を実現することができる。したがって、この第6実施形態では、より良好な素子特性を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 0 8 5 】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【 0 0 8 6 】

たとえば、上記実施形態では、凹部または凹み部を有するマスク層をSiNまたはSiO₂によって形成したが、本発明はこれに限らず、他の絶縁膜材料や高融点金属材料によって形成してもよい。

【 0 0 8 7 】

また、上記第3および第4実施形態では、オーバーハング形状のマスク層を、プラズマCVD法のRFパワーを変化させて形成した2層のSiN層をエッチングすることにより形成したが、本発明はこれに限らず、他の形成方法によってオーバーハング形状のマスク層を形成してもよい。たとえば、EB蒸着法を用いて形成した約0.05 μm の厚みを有するSiO₂膜からなる下層の第1マスク材

料層と、プラズマCVD法でRFパワーを250Wにして形成された約0.45 μm の厚みを有するSiNからなる上層の第2マスク材料層とを形成した後、それらをエッチングすることによっても、オーバーハング形状のマスク層を形成することは可能である。これは、上記のように形成した下層の第1マスク材料層が上層の第2マスク材料層に比べてエッチングされやすいからである。

【0088】

また、上記第1および第2実施形態では、凹部を有するマスク層の形成方法として、それぞれ異なる形成方法を示したが、本発明はこれに限らず、第1実施形態の構造において、第2実施形態のマスク層の形成方法を用いて形成したマスク層を採用してもよいし、第2実施形態の構造において、第1実施形態のマスク層の形成方法を用いて形成した凹部を有するマスク層を採用してもよい。

【0089】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を得ることによって、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供することができる。また、転位がより低減され、かつ、c軸（結晶軸）のずれが抑制された窒化物系半導体層を得ることができるので、より良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図2】

本発明の第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図3】

本発明の第1実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図4】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 5】

本発明の第 1 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 6】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 7】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 8】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 9】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 0】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 2】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 3】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 4】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 5】

本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 1 6】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 7】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 8】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 1 9】

本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 2 0】

本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 1】

本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 2】

本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 3】

本発明の第 5 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導

体レーザ素子を示した断面図である。

【図 2 4】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 5】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 6】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 7】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 2 8】

本発明の第 6 実施形態による窒化物系半導体の形成方法を用いて製造した半導体レーザ素子を示した断面図である。

【図 2 9】

従来の窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 0】

従来の提案された窒化物系半導体の形成方法を説明するための断面図である。

【図 3 1】

図 3 0 に示した従来の提案された窒化物系半導体の形成方法の問題点を説明するための断面図である。

【符号の説明】

- 1、3 1、5 1 サファイア基板
- 3、3 3、5 3 アンドープ G a N 層（下地）
- 5、2 4、3 5、4 4、5 5、6 4 アンドープ G a N 層（窒化物系半導体層）
- 6、2 5、3 6、4 5、5 6、6 5 空洞部
- 4、2 2、3 4、4 2、5 4、6 2 マスク層

4 a、22 a 凹部

21、41 サファイア基板（下地）

22 b、34 b、42 b 第1マスク材料層

22 c、34 c、42 c 第2マスク材料層

34 a、42 a、54 a、62 a 凹み部（凹部）

11、71 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層（窒化物系半導体素子層）

12、72 n型In_{0.1}Ga_{0.9}Nクラック防止層（窒化物系半導体素子層）

13、73 n型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層（窒化物系半導体素子層）

14、74 MQW発光層（窒化物系半導体素子層）

15、75 p型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層（窒化物系半導体素子層）

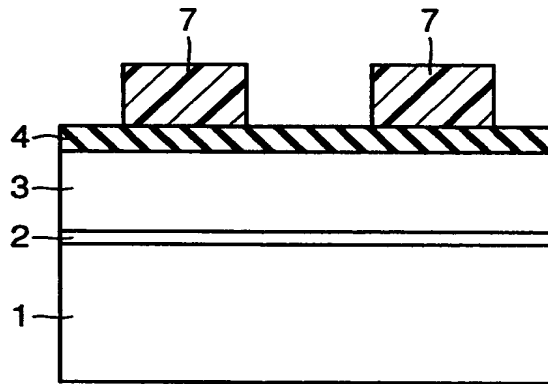
16、76 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層（窒化物系半導体素子層）

61 n型Si基板（下地）

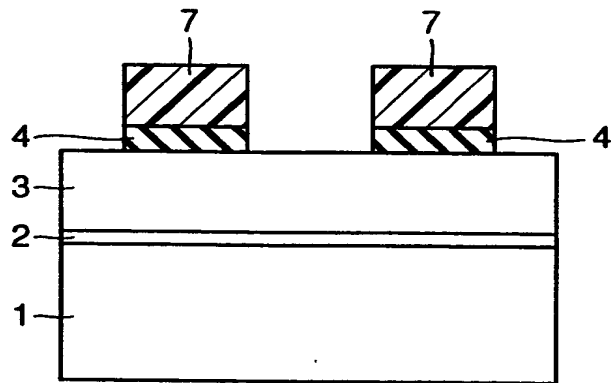
【書類名】

図面

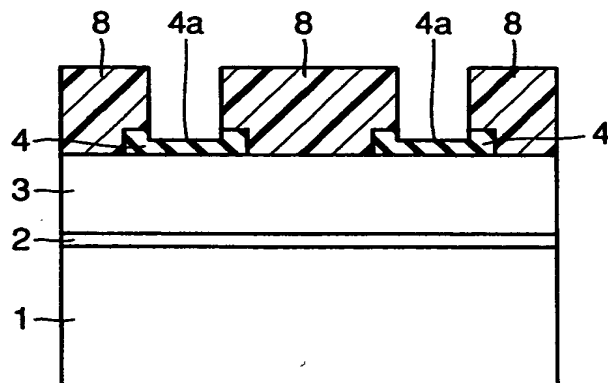
【図 1】



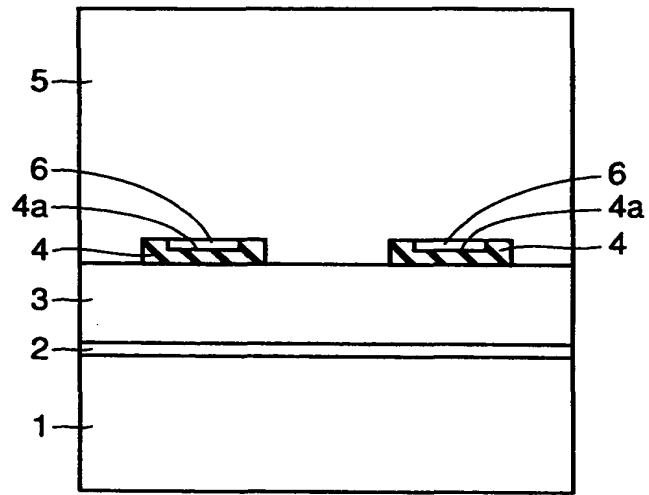
【図 2】



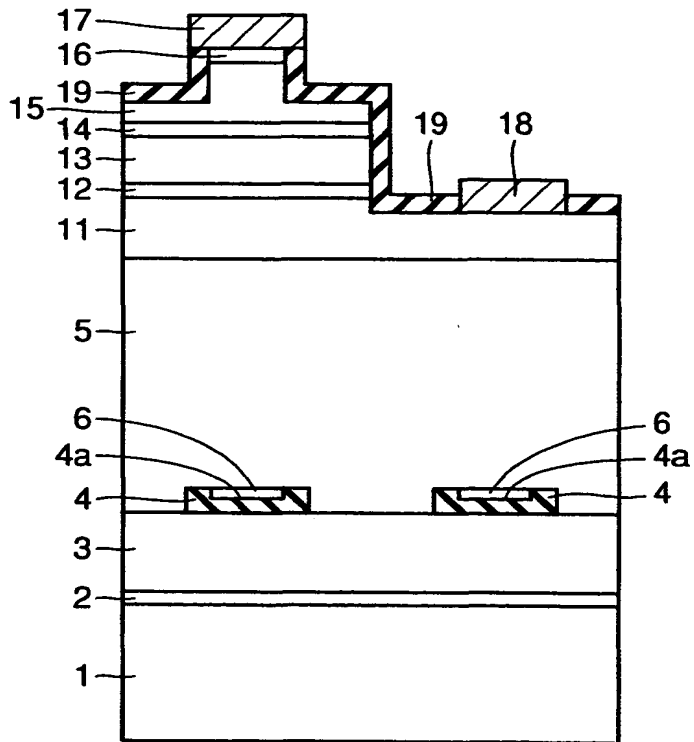
【図 3】



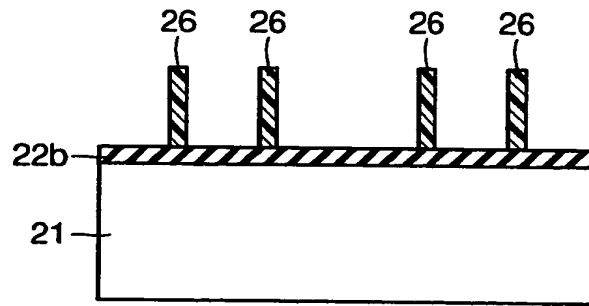
【図 4】



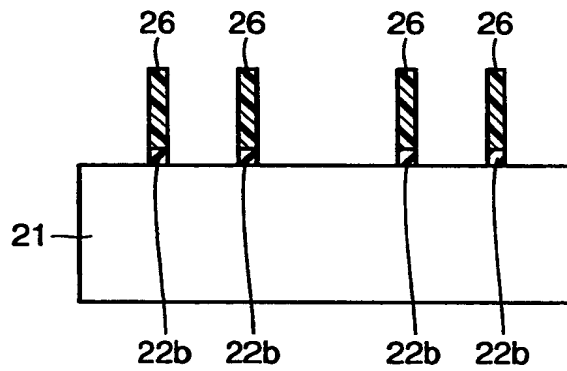
【図 5】



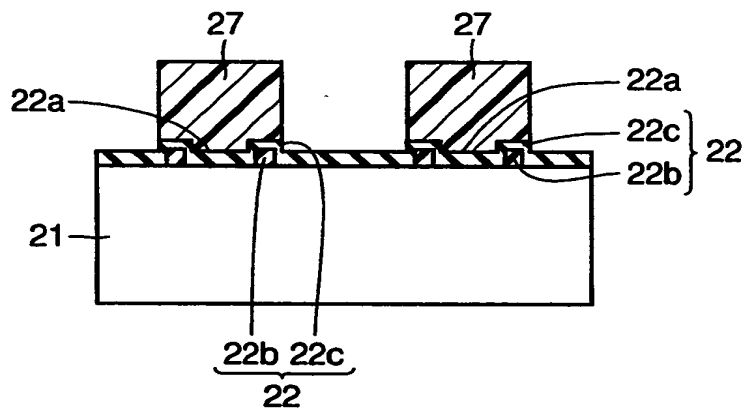
【図 6】



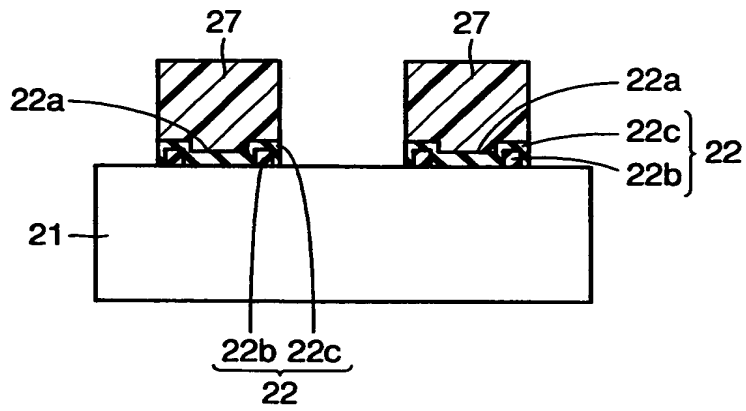
【図 7】



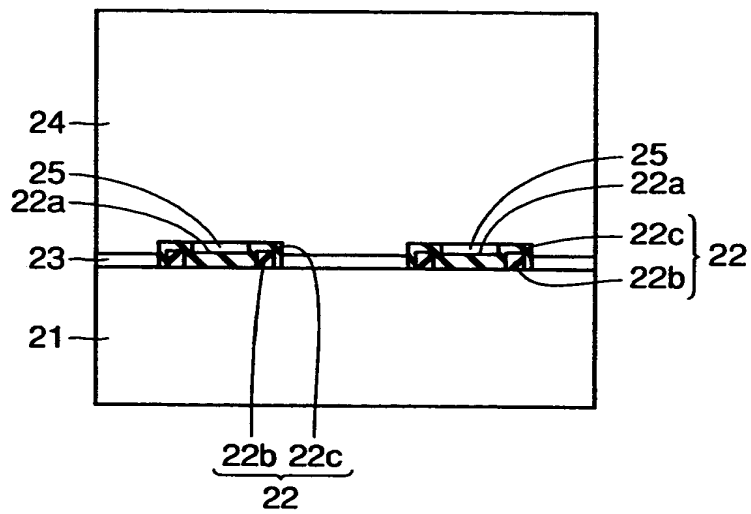
【図 8】



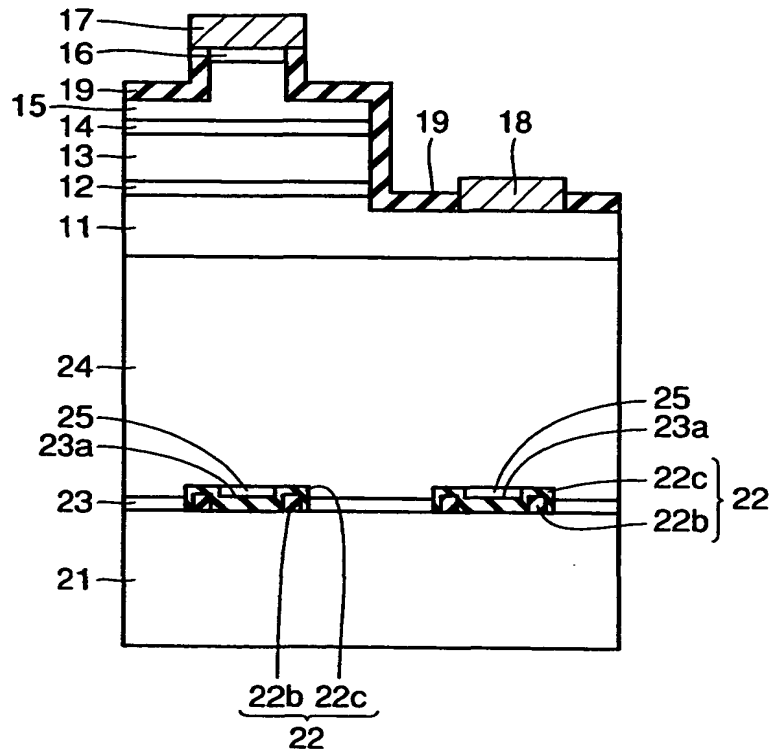
【図 9】



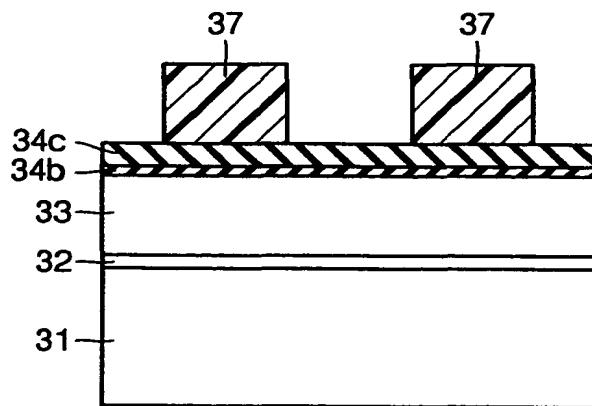
【図 1 0】



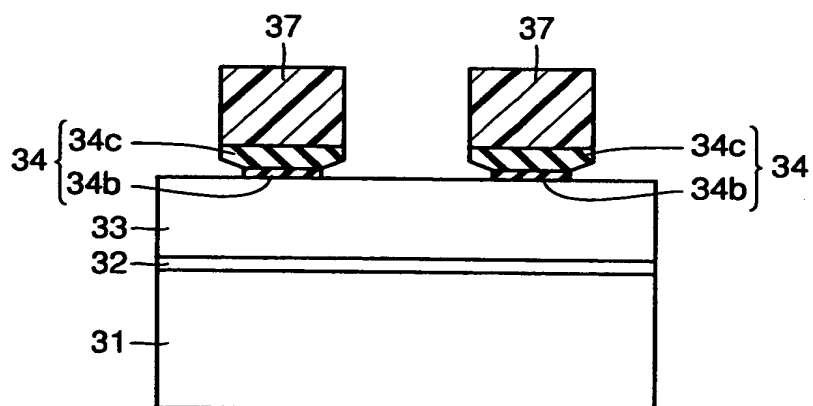
【図 1 1】



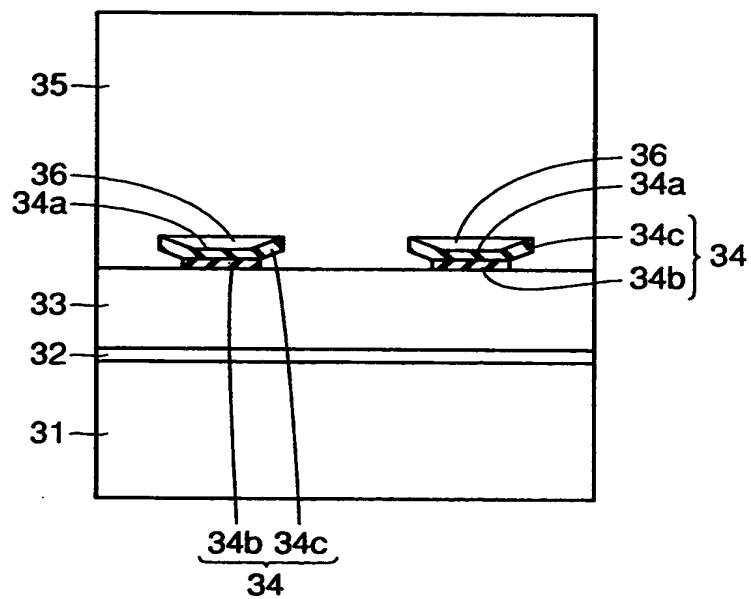
【図 1 2】



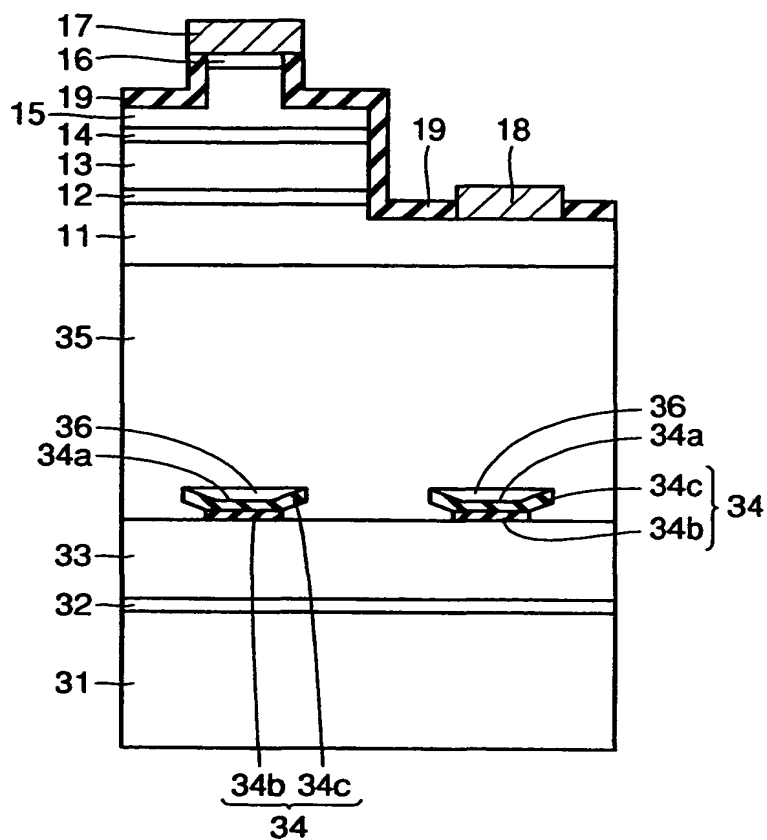
【図 1 3】



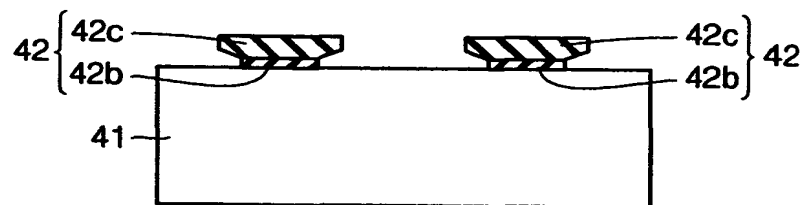
【図 1 4】



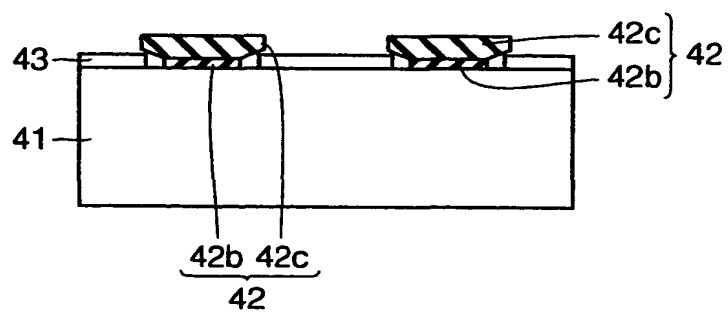
【図 1 5】



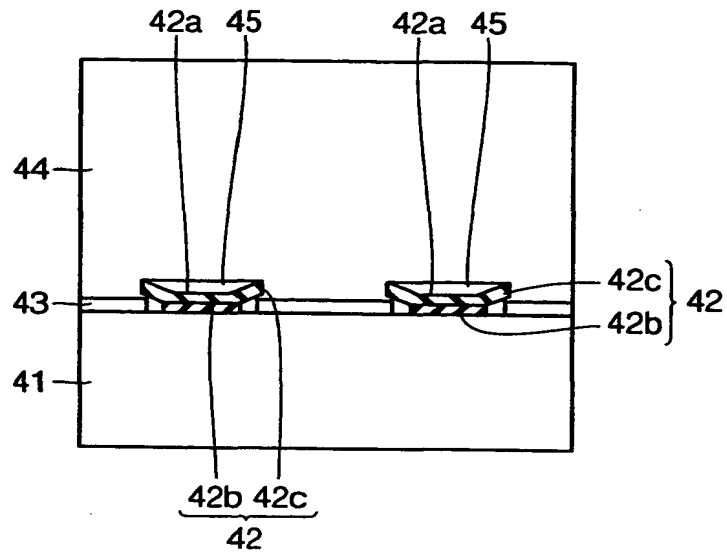
【図 1 6】



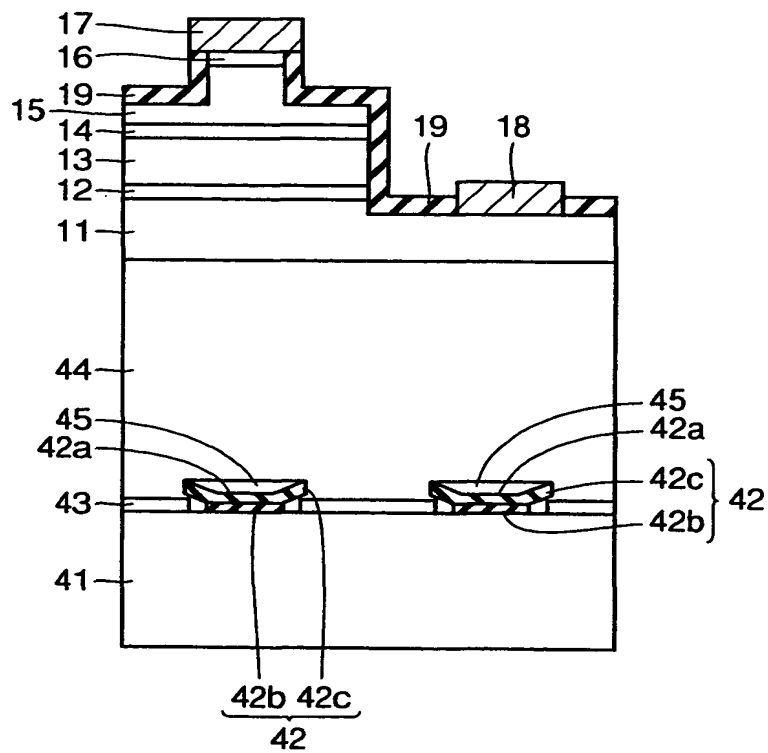
【図 1 7】



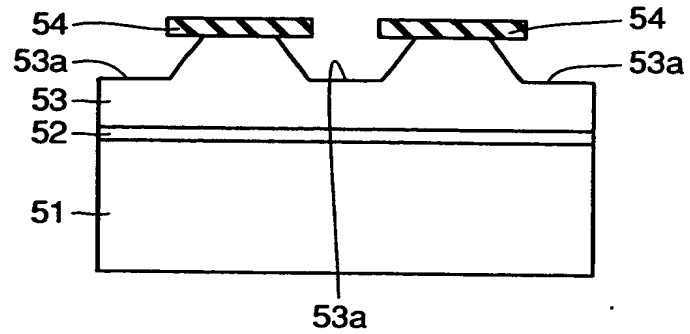
【図 18】



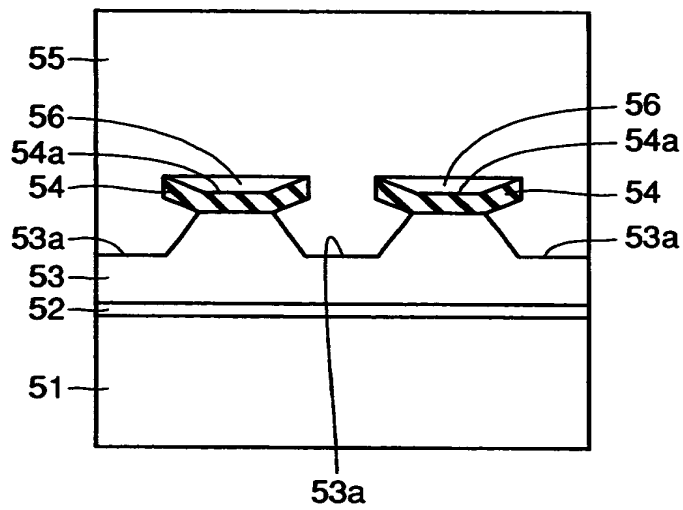
【図 19】



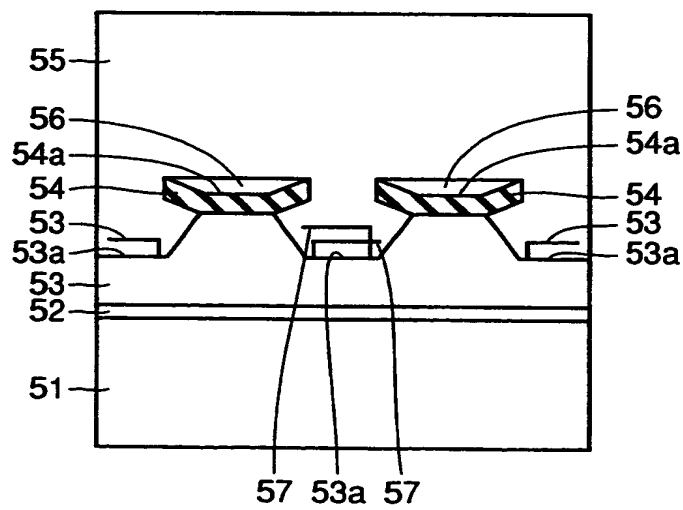
【図 2 0】



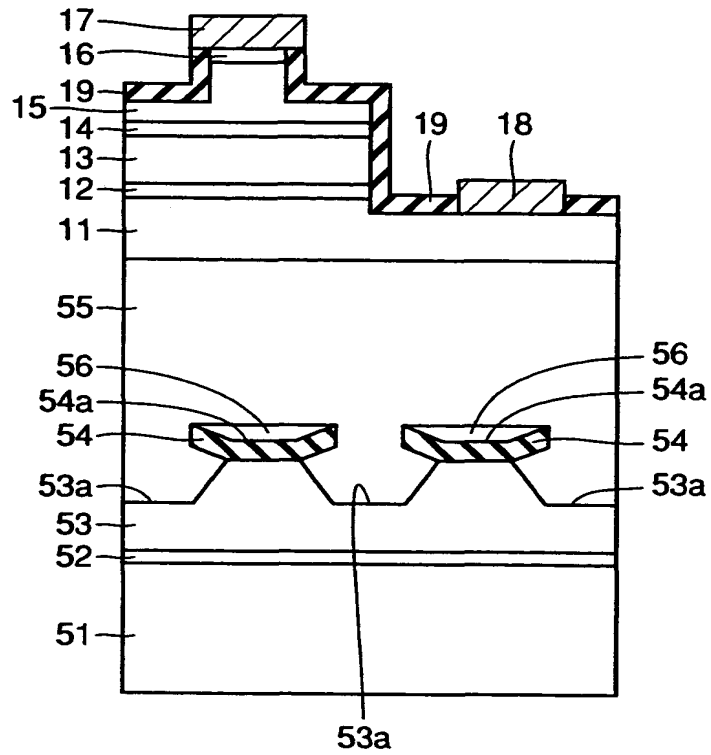
【図 2 1】



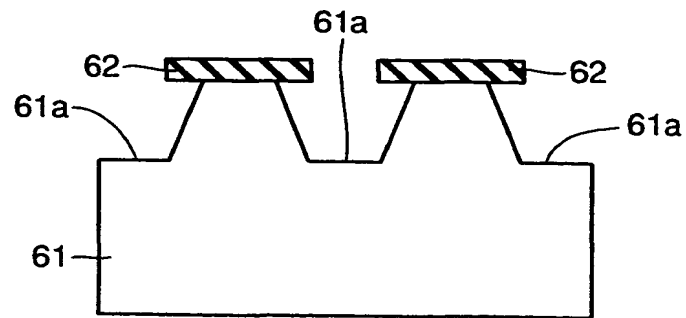
【図 2 2】



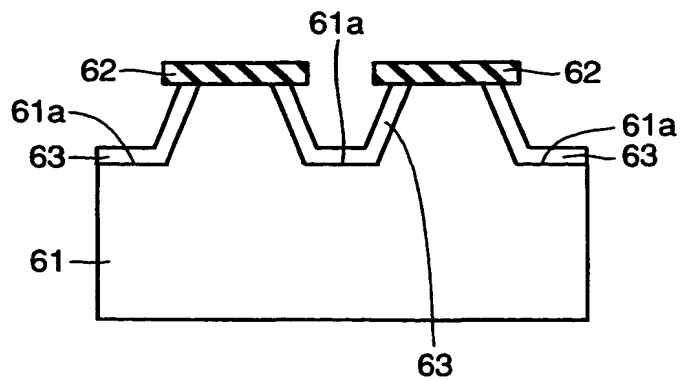
【図 2 3】



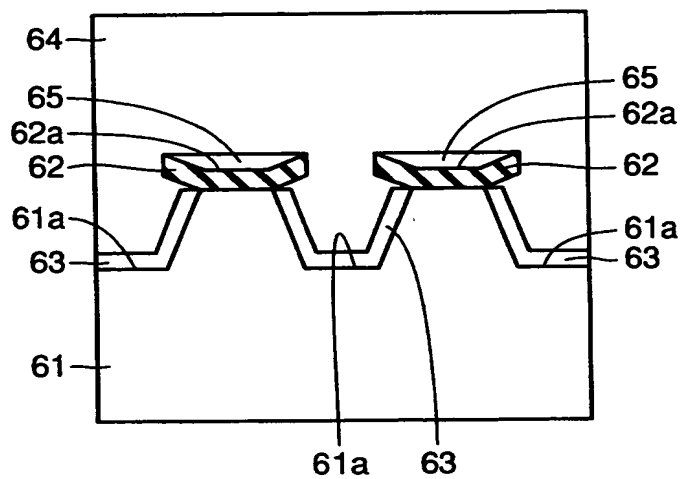
【図 2 4】



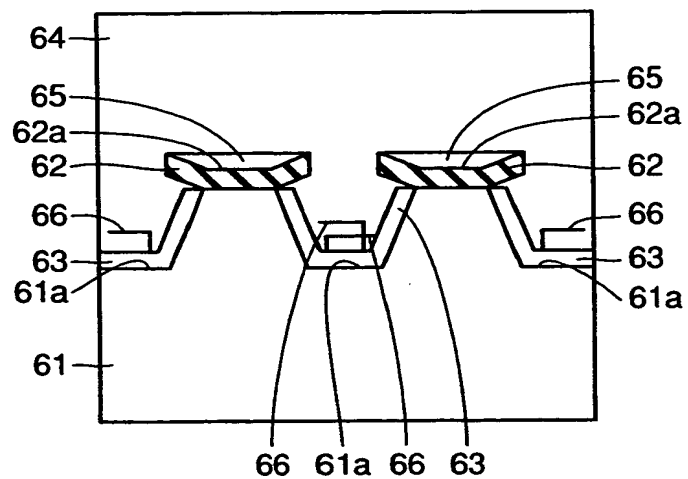
【図 2 5】



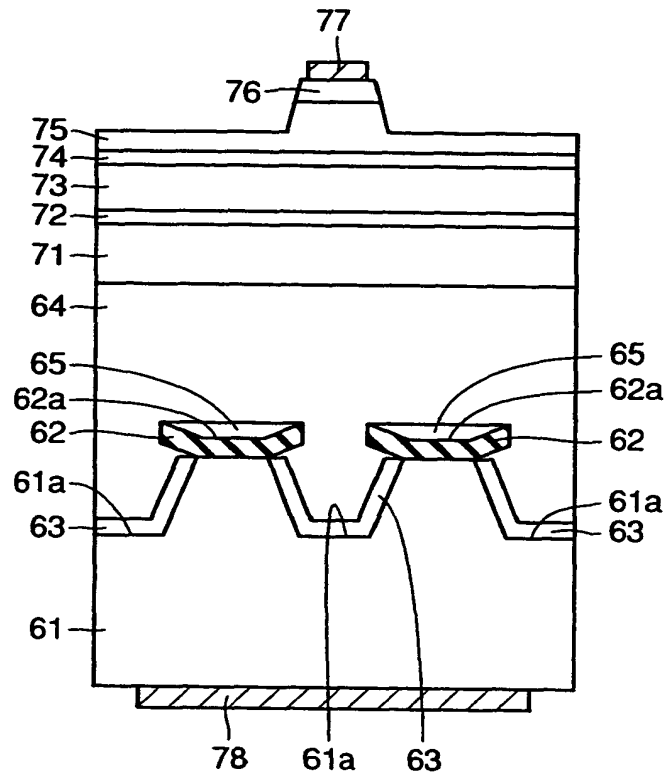
【図 26】



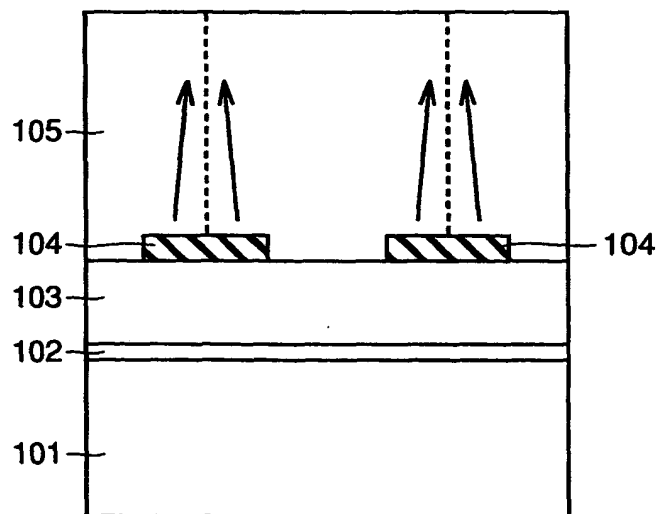
【図 27】



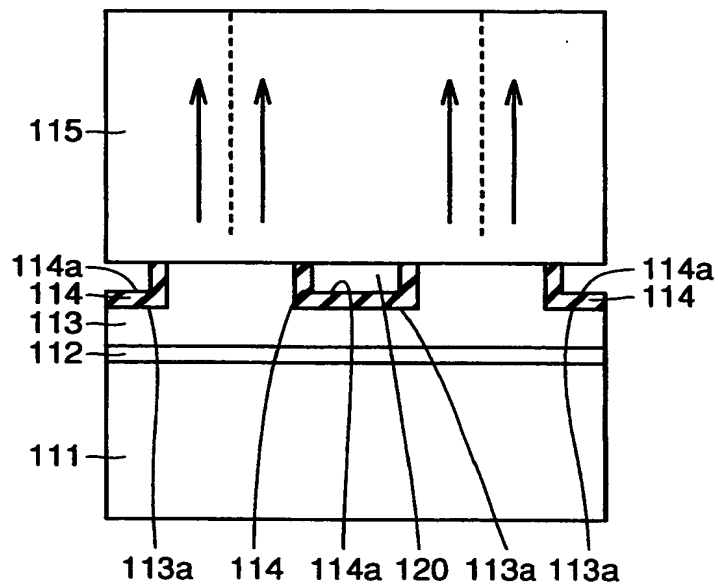
【図 28】



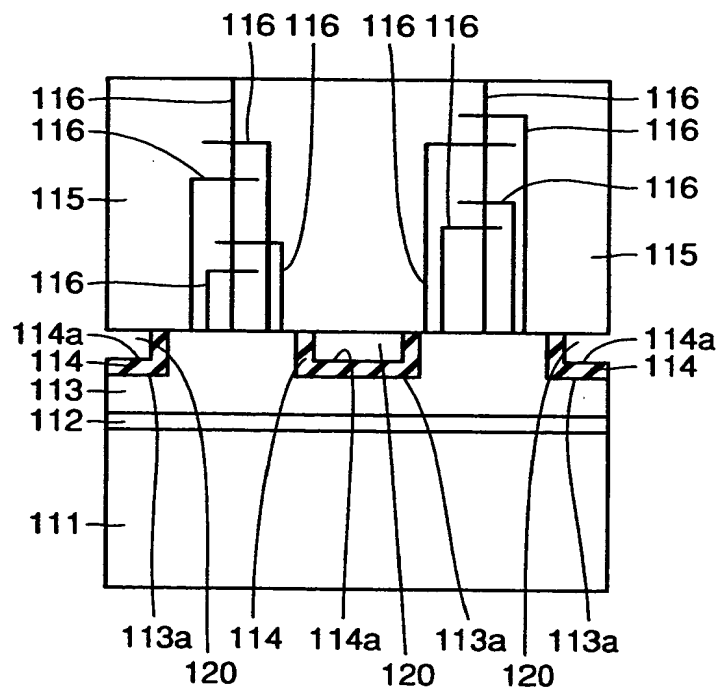
【図 29】



【図 3 0】



【図 3 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】長時間のエッチングプロセスを行うことなく、結晶性の良好な窒化物系半導体層を得ることによって、良好な素子特性を有する窒化物系半導体素子を提供する。

【解決手段】実質的に平坦な上面を有する下地としてのアンドープGaN層3上に、アンドープGaN層3の一部が露出するように形成され、凹部4aを有するマスク層4と、露出されたアンドープGaN層3上およびマスク層4上に形成されるとともに、マスク層4の凹部4a上に空洞部6を有して形成されたアンドープGaN層5と、アンドープGaN層5上に形成され、素子領域を有する窒化物系半導体素子層を構成する各層11～16とを備えている。

【選択図】図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001889]

1. 変更年月日 1993年10月20日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
氏 名 三洋電機株式会社